Hommage de l'auteur

LA

VELOCITÀ DEL SUONO NEL CLORO

RICERCHE SPERIMENTALI

DEL PROF. TITO MARTINI

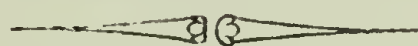
—(⌶)o(⌶)—

VENEZIA
TIPOGRAFIA DI G. ANTONELLI
1881

(Estr. dal Vol. VII, serie V degli Atti del R. Istituto veneto
di scienze, lettere ed arti.)

LA

VELOCITÀ DEL SUONO NEL CLORO.



Nell' ipotesi che i gas siano perfetti si sa che la velocità colla quale trasmettono il suono, alla temperatura di 0^0, è data dalla formula

$$v_0 = \sqrt{\frac{g.D.0,76}{d}} ,$$

dove g rappresenta l' accelerazione dovuta alla gravità, D la densità del mercurio a 0^0, e d la densità del gas riferita a quella dell' acqua.

Se poi si volesse la velocità del suono alla temperatura t, chiamando α il coefficiente di dilatazione del gas, risulterebbe

$$v_t = \sqrt{\frac{g.D.0,76}{d}(1+\alpha t)} = v_0 \sqrt{1+\alpha t} .$$

Appoggiandosi alle idee di Laplace, Poisson e Biot trovarono che la formula di Newton deve essere corretta mercè l' introduzione di un nuovo coefficiente, cioè del rapporto fra le calorie di riscaldamento a pressione costante e quelle di riscaldamento a volume costante. Perciò

V. Journal de Physique T. 10 année 1881 p. 410

chiamato K il rapporto $\frac{c}{c_1}$ dei due *calori specifici*, la formula diviene

$$v_t = \sqrt{\frac{g.D.0,76}{d}(1 + \alpha t).K} \;;$$

nella quale sostituendo i valori numerici si hanno dei risultamenti che concordano con quelli forniti dall'esperienza diretta.

E, sempre nell' ipotesi che i gas siano perfetti, chiamate v e v_1 le velocità del suono in due differenti gas, aventi le densità d e d', si avrebbe

$$v : v_1 = \sqrt{d_1} : \sqrt{d} \;,$$

d' onde

$$v_1 = v\sqrt{\frac{d}{d_1}} \;.$$

Perciò se v fosse cognita, per es. rappresentasse la velocità del suono nell' aria, chiamata 1 la densità dell' aria e δ quella dell' altro gas, si avrebbe la velocità del suono in questo gas espressa dalla formula

$$v_1 = v\sqrt{\frac{1}{\delta}} \;.$$

Una delle più importanti ricerche è il rapporto $\frac{c}{c_1}$ pei diversi gas, che non sempre può esser trovato con metodi diretti. Siffatto rapporto è stato calcolato da varî fisici deducendolo dalla velocità del suono nei gas determinata per via dell' esperienza : imperocchè chiamata v la velocità del suono osservata, e ridotta a 0° , si ha

$$v = \sqrt{\frac{g.D.0,76}{d}.K} \;,$$

d' onde

$$K = \frac{v^2 d}{g.D.0,76}.$$

A proposito di siffatte ricerche sono del più grande interesse i lavori di Dulong (1), di Masson (2), di Regnault (3), i quali determinarono la velocità del suono in molti gas, sia facendo parlare delle canne d' organo e misurando la lunghezza dell' onda sonora, sia riempiendo dei lunghi tubi di condotta coll' uno o coll' altro gas e misurando direttamente la velocità. In quest' ultimi tempi Kundt (4), adoperando un nuovo metodo di molta eleganza e semplicità, ha potuto determinare la velocità del suono in diversi gas, ed ha trovato dei risultamenti presso che conformi a quelli avuti dai precedenti sperimentatori.

Ma fra i gas sui quali hanno sperimentato i su rammentati fisici non ho trovato il cloro ; e sembrandomi non oziosa la ricerca della velocità del suono in detto gas, per poi da quella dedurre il valore di K, ho intrapreso una serie di ricerche che formano appunto l' oggetto della presente memoria.

Per tale ricerca ho ricorso ad un metodo suggeritomi da una esperienza che Tyndall descrive nella sua acustica (5). Per dimostrare che una colonna d' aria di conveniente lunghezza è capace di rinforzare un determinato suono, si ripete quell' esperienza, ideata da Dulong, la quale consiste nel prendere una provetta di vetro e versarvi tanto mercurio fino a che sia limitata quella colonna d' aria capace di rinforzare il suono emesso da un diapason. Tyndall mo-

(1) *Annales de chimie et de physique*, 2.ª serie, t. 10, p. 395.
(2) Ibidem 3.ª serie, t. 53, p. 257.
(3) *Mémoires de l'Académie des sciences* (1868), t. 37.
(4) Tyndall, *Le Son*, trad. par Moigno (1869).
(5) Id. ib. p. 185.

difica l'esperienza di Dulong nel seguente modo: dopo aver rinforzata la nota di un diapason con una provetta di sufficiente lunghezza, la capovolge e la riempie di gas illuminante; il rinforzo non ha più luogo perchè la velocità del suono nel gas illuminante è maggiore di quella nell' aria, e per rinforzare la stessa nota converrebbe prendere una provetta più lunga.

Ciò premesso, se si chiamano h ed h' le lunghezze di due colonne gassose capaci di rinforzare al massimo grado una stessa nota, poichè queste lunghezze sono la quarta parte delle corrispondenti, onde l ed l', chiamate v e v_1 le velocità del suono nei due gas, l ed l' essendo rispettivamente eguali a $\frac{v}{n}$ e $\frac{v_1}{n}$, si dovrà avere

$$v : v_1 = h : h_1 \ .$$

E se v rappresenta la velocità del suono nell' aria alla temperatura dell' esperienza, si avrà

$$v_1 = \frac{v \times h'}{h} \ .$$

La precedente proporzione suppone che le leggi di Bernoulli siano esattamente verificate dall' esperienza, la qual cosa non è vera. Ma se le lunghezze osservate sono minori delle lunghezze teoriche, il rapporto $\frac{h'}{h}$ resta eguale a $\frac{v'}{v}$, come già lo dimostrò Dulong. Era dunque da verificare se vi avea modo di cogliere con esattezza il punto del massimo rinforzo, perchè allora il detto metodo potea con profitto applicarsi a determinare la velocità del suono nel cloro; perciò sperimentai dapprima su gas di cui era già nota la velocità incominciando dall' anidride carbonica.

L' apparecchio di cui mi sono servito per determinare la velocità del suono consta di una canna di vetro aperta alle due estremità, della lunghezza di 40 centimetri e del

diametro interno di 2 centimetri. Questa canna è tenuta verticale, ed alla parte inferiore v' è applicato un tubo di gomma che la mette in comunicazione con altra canna sostenuta da un sopporto avente un movimento a *cremagliera*. Versando dell'acido solforico, che si livella nelle due canne, mercè la cremagliera si può alzare o abbassare il livello del liquido fino a limitare quella colonna gassosa che sarà capace di rinforzare un determinato suono. La lunghezza della colonna è data da una divisione in centimetri e millimetri praticata sulle pareti della canna fissa.

Per ottenere il suono da rinforzarsi ho adoperato un diapason costruito da Koenig, senza cassa di risuonanza, che dà l' ut_3 di 512 vibrazioni semplici al minuto secondo. Scuotendo il diapason e poi avvicinandolo alla bocca della canna fissa, modificando il livello del liquido si può determinare, con un errore non maggiore di mezzo millimetro, la lunghezza della colonna d' aria, per es., che produce il massimo rinforzo. Descritto così il metodo ecco i risultamenti da me ottenuti.

Velocità del suono nell' anidride carbonica.

Si determina dapprima la lunghezza della colonna d'aria capace di rinforzare al massimo il Do_3. Poscia s'introduce nella canna un lungo tubetto di vetro che comunica coll' apparecchio generatore dell' anidride carbonica la quale, prima di giungere nella canna, attraversa dei vasi lavatori e dei lunghi tubi contenenti delle sostanze essiccanti. La canna si riempie per spostamento di anidride carbonica, e l' acido solforico la mantiene asciutta. Sempre col getto in azione si leva poco a poco il tubetto di efflusso, e si determina poi la lunghezza della colonna gassosa che rinforza il Do_3. Ma per questa determinazione bisogna aver cura di tenere il livello del liquido assai più basso del

punto a cui deve giungere, perchè in tal modo si è più sicuri, alzando il detto livello, di aver sempre la canna piena di anidride carbonica e di eliminare quella po' di mescolanza coll' aria che potrebbe formarsi alla bocca [1].

In una prima esperienza fatta alla temperatura di 7° trovai i dati seguenti:

Lunghezza della colonna d'aria rinforzante il Do_3...318.^{mm}.

(Il detto numero è la media di 10 osservazioni fatte dentro i limiti di 317^{mm},5 e 318^{mm},5.)

Lunghezza della colonna d' anidride carbonica . . 253^{mm}.

(Media di 10 osservazioni.)

Per la velocità del suono nell' aria a 0° prendendo 331^{m} al minuto secondo, si ha per la velocità a 7°

$$331\sqrt{1+0,00367\times 7}=335^{m},2\ ;$$

perciò

$$x=\frac{335,2\times 253}{318}=266^{m},7\ .$$

Il coefficiente di dilatazione dell'anidride carbonica essendo 0,00371, la velocità del suouo a 0° in detto gas sarà

$$\frac{266,7}{\sqrt{1+0,00371\times 7}}=263,^{m}4\ .$$

Avverto che anche nelle successive esperienze la lunghezza della colonna gassosa esprime sempre la media di 10 osservazioni presa dentro limiti non mai superiori a un millimetro.

Altre due serie di esperimenti fatte in condizioni favo-

(1) Gli orli della canna fissa erano smerigliati, e, levato il tubo di efflusso, si chiudeva la canna con una lastrina di vetro, la quale veniva tolta quando si avvicinava il diapason.

revolissime, perchè la temperatura scese a 0°,4 e poi a 0°, diedero i seguenti risultamenti:

Lunghezza della colonna d'aria . . . . . . 312^{mm}

Lunghezza della colonna d'anidride carbonica. 247^{mm},5.

Perciò, senza bisogno di correzione, si avrà subito

$$x = \frac{331 \times 247,5}{312} = 262^{m},6 \; .$$

La media dei risultati è dunque eguale a 263^{m} al m. s. Gli altri sperimentatori hanno ottenuto i seguenti numeri:

Dulong	261^{m},5
Masson	256 ,8
Regnault	264 ,8 (1) 259 ,7 (2)
Kundt	264 ,5 .

Velocità del suono nel protossido d' azoto.

Riempiuta per spostamento la canna con protossido di azoto ben secco, si sono ottenuti i seguenti numeri:

Lunghezza della colonna d' aria . . . . . 317^{mm},5

Lunghezza della colonna di protossido d'azoto. 253^{mm},5.

Temperatura 7°.

La velocità del suono nell' aria a 7° è metri 335,2; dunque

$$x = \frac{335,2 \times 253,5}{317,5} = 267^{m},6 \; .$$

Il coefficiente di dilatazione del protossido d' azoto è 0,003719, quindi la velocità del suono a 0° sarà

(1) Tubo di condotta lungo 70^{m},5.

(2) Detto lungo 567^{m},3.

$$\frac{267,6}{\sqrt{1 + 0,003719 \times 7}} = 264^{m} .$$

Altri sperimentatori hanno ottenuto i seguenti numeri:

Dulong	$261^{m},9$
Masson	256 ,5
Regnault	264 ,8 .

La quasi perfetta concordanza fra i risultati ottenuti col metodo della risuonanza in confronto di quelli avuti da sperimentatori abilissimi, mostra che il detto metodo può con profitto applicarsi a determinare la

Velocità del suono nel cloro.

Ho sviluppato il cloro talvolta colla reazione dell' acido solforico sul cloruro di sodio mescolato col biossido di manganese, e talvolta coll'acido cloridrico unito allo stesso biossido. Il cloro attraversava dapprima diversi vasi lavatori, e poscia passava per lunghi tubi pieni di cloruro di calcio fuso affine di averlo ben secco. Per il riempimento della canna risuonante si sono usate tutte quelle precauzioni che ho già accennate nelle precedenti esperienze, e parmi di non aver trascurato cautele perchè i risultamenti riuscissero esatti. Avverto pure che la temperatura del gas che trovavasi raccolto nella canna poteva ritenersi eguale a quella dell' ambiente, perchè un termometro sensibilissimo introdotto nella canna accusava appena un quinto di grado in più rispetto alla temperatura esterna. Ecco ora i dati di varie esperienze:

Esperienza 1.ª

Lunghezza della colonna d' aria	$314^{mm},5$
Lunghezza della colonna di cloro	197^{mm} .

Temperatura 2°,5.

Velocità del suono nell' aria a 2°,5 . . . . . 332^{m},4 .

Si avrà dunque

$$x = \frac{332,4 \times 197}{314,5} = 208^{m},2 \ .$$

Mancando il coefficiente di dilatazione del cloro, per la riduzione a 0° prendo quello del *cianogeno* che è 0,00387 ; si avrà quindi :

$$\frac{208,2}{\sqrt{1+0,00387 \times 2,5}} = 207^{m},2 \ .$$

Ovvero, supponendo lo stesso coefficiente di dilatazione tanto per l' aria quanto per il cloro, poichè per la riduzione della velocità a 0° si dovrebbe prima moltiplicare e poi dividere per lo stesso numero, si avrà immediatamente:

$$x = \frac{331 \times 197}{314,5} = 207,^{m}3 \ .$$

Esperienza 2.ª

Lunghezza della colonna d' aria . . . . . . 317^{mm}

Lunghezza della colonna di cloro . . . . . . 198^{mm}

Temperatura 5°,7.

La velocità del suono nell' aria è . . 334^{m},4

$$x = \frac{334,4 \times 198}{317} = 208,8 \ .$$

La velocità ridotta a 0° col coefficiente di dilatazione del cianogeno è

$$\frac{208,8}{1,0109} = 206^{m},5 \ .$$

Ovvero, supponendo eguali i coefficienti di dilatazione

$$\frac{331 \times 198}{317} = 206,^{m}7 \ .$$

Esperienza 3.ª

Lunghezza della colonna d' aria . . . . . . 334^{mm}
Lunghezza della colonna di cloro . . . . . . 199^{mm} .

Temperatura 6°,6.

Velocità del suono nell' aria . . . . $334^{m},9$

$$x = \frac{334,9 \times 199}{318} = 209^{m},5 \ .$$

Velocità corretta

$$\frac{209,5}{1,01269} = 206^{m},8 \ ;$$

ovvero

$$\frac{331 \times 199}{318} = 207^{m},1 \ .$$

Esperienza 4.ª

Lunghezza della colonna d' aria . . . . . . 318^{mm}
Lunghezza della colonna di cloro . . . . . . 198^{mm} .

Temperatura 7°.

$$x = \frac{335,2 \times 198}{318} = 208^{m},7 \ .$$

Velocità corretta

$$\frac{208,7}{1,0134} = 205^{m},9 \ ;$$

ovvero

$$\frac{331 \times 198}{318} = 206^{m},1 \ .$$

Esperienza 5.ª

Temperatura 7°.

Risultati identici a quelli dell'esperienza 4.ª

Quadro riassuntivo delle precedenti esperienze.

Nome del gas	Temperatura	Lunghezza della colonna d' aria	Lunghezza della colonna gassosa	Velocità del suono nell'aria alla temperatura dell'esper.ª	Velocità del suono nel gas alla temperatura dell'esper.ª	Velocità del suono nel gas ridotta a 0°
Anidride carbonica . .	7°	318mm	253mm	335m,2	266m,7	263m,4
» . .	0,4 — 0	312	247 ,5	331	262 ,6	262 ,6
Protossido d' azoto . . .	7	317 ,5	253 ,5	335 ,2	267 ,6	264
Cloro	2,5	314 ,5	197	332 ,4	208 ,2	207,2—207,3
»	5,7	317	198	334 ,4	208 ,8	206,5—206,7
»	6,6	318	199	334 ,9	209 ,5	206,8—207,1
»	7	318	198	335 ,2	208 ,7	205,9—206,1
»	7	id.	id.	id.	id.	id. id.

Delle precedenti esperienze potremo dunque concludere che la velocità del suono nel cloro ha un valore medio di $206^m,4$ al m. s. alla temperatura di 0^0. Io credo che il detto valore possa ritenersi molto prossimo al vero; imperocchè se si volesse determinare la velocità del suono nel cloro deducendola dalla formula

$$331\sqrt{\frac{1}{\delta}}\,,$$

dovrebbe risultare un valore maggiore di quello trovato, perchè nello stabilire la formula si è supposto che i gas sieno perfetti. Ed invero, ponendo nella formula il numero che rappresenta la densità del cloro rispetto all' aria, che è 2,47 come risulta dall' osservazione, ovvero 2,426 come risulta dalla teoria, si ha nel primo caso

$$331\sqrt{\frac{1}{2{,}47}} = 210^m{,}6\ ;$$

e nel secondo

$$331\sqrt{\frac{1}{2{,}426}} = 212^m{,}5\ .$$

Qualora poi si volesse dedurre la velocità del suono nel cloro dalla lunghezza della canna risuonante, dovrebbe risultare un numero inferiore a quello trovato colla proporzione. E infatti, prendendo i dati dell' ultima esperienza si ha che la semi-onda $\frac{l}{2} = 198 \times 2 = 0^m{,}396$; dunque $v = 0^m{,}396 \times 512 = 202^m{,}7$; laddove la velocità trovata colla proporzione è $208^m{,}7$. Si vede adunque che il valore medio 206,4 è compreso dentro limiti ragionevoli, e di poco può differire dal valore vero.

Determinazione del rapporto $\frac{c}{c_1}$.

Preso dunque come valore medio della velocità del suono nel cloro il numero 206,4, mediante la formula

$$v^2 = \frac{g.D.0,76}{d} . K$$

determineremo il valore di $K = \frac{c}{c_1}$.

I dati da sostituirsi nella formula sono i seguenti:

g (intensità della gravità a Venezia) . .	$9^m,806$
D (densità del mercurio a 0°)	13 ,596
d (densità del cloro rispetto all' acqua). .	0 ,00318

dunque

$$(206,4)^2 = \frac{9,806 \times 13,596 \times 0,76}{0,00318} . K$$

d' onde K = 1.336 .

Il calore specifico del cloro a pressione costante è, in volume, eguale a 0,2964 (Regnault); dunque il calore specifico a volume costante risulterà eguale a

$$\frac{0,2964}{1,336} = 0,2217 .$$

Venezia, 1.° marzo 1881.

LA

VELOCITÀ DEL SUONO NEL CLORO.

NOTA

DEL PROF. TITO MARTINI [1]



Dalle ricerche sperimentali da me eseguite per determinare la velocità del suono nel cloro, risulta un valore medio di $206^{m},4$ al minuto secondo.

Introducendo questo dato nella formola

$$v^2 = \frac{g.D.0,76}{d}.k ,$$

si ha $k = \frac{c}{c_1} = 1,336$.

Nella sostituzione degli altri dati ho preso per la densità del cloro rispetto all' acqua

$$d = 0,00318 ,$$

che rappresenta la densità osservata. Poichè la densità osservata differisce da quella teorica, parmi opportuno di eseguire il calcolo di k anche con questo dato.

La densità teorica del cloro rispetto all' aria è 2,426; perciò il peso di 1 litro di cloro sarà

$$2,426 \times 1,293187 = 3^{gr},137 ,$$

(1) V. il vol. VII, serie V degli *Atti del R. Istituto veneto.*

e quindi la sua densità rispetto all' acqua risulta eguale a 0,003137. Sostituito questo numero nella formula, si ha

$$k = \frac{c}{c_1} = 1,319 \;;$$

e il valore medio di k è quindi eguale a 1,327.

Come verifica si può determinare il valore di k partendo dalle formule della termodinamica. Si sa infatti che

$$c - c_1 = \frac{\alpha . p_0 . v_0}{E} \, ,$$

dove α è il coefficiente di dilatazione degli aeriformi, p_0 la pressione atmosferica sopra 1 metro quadrato, v_0 il volume a 0^0 di 1 chg. di gas. Ponendo dunque

$c = 0,1210$ (calore specifico del cloro in peso),

$\alpha = \frac{1}{273}$,

$p_0 = 10333$,

$v_0 = \frac{1}{3,137}$,

$E = 425$,

si ha $c_1 = 0,0927$, e quindi

$$\frac{c}{c_1} = 1,305 \; .$$

(Estr. dal Vol. VII, Ser. V degli Atti del R. Istituto veneto
di scienze, lettere ed arti.)

Venezia, 1881 Tip. Antonelli

